DAS GESETZ

DER

BEWEGUNGEN IN DEN GELENKEN

AN DER BASIS DER MITTLEREN FINGER

UND

IM HANDGELENK DES MENSCHEN

VON

W. BRAUNE,

ORD. MITGLIED DER KÖNIGL. SÄCHS. GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN,

UND

O. FISCHER.

Des XIV. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N⁰ IV.

MIT ZWEI HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG

BEI S. HIRZEL.

1887.

Vom Verfasser übergeben den 1. August 1887.
Der Abdruck vollendet den 12. August 1887.

DAS GESETZ

DER

BEWEGUNGEN IN DEN GELENKEN

AN DER BASIS DER MITTLEREN FINGER

UND

IM HANDGELENK DES MENSCHEN

VON

WILH. BRAUNE UND **O. FISCHER.**

Als wir im Anschlusse an unsere Arbeit über das menschliche Handgelenk untersuchten, in wie weit von der Möglichkeit der Bewegungen, wie sie der Gelenkmechanismus an sich bietet, im Leben Gebrauch gemacht wird, zeigte sich bei den Bewegungen in den Metacarpo-Phalangalgelenken des 2., 3. und 4. Fingers (die am Rande der Hand gelegenen Finger, Daumen und 5. Finger, wurden noch nicht in den Bereich der Untersuchung gezogen) eine Beschränkung der Bewegungen, die in dem Mechanismus des Gelenkes selbst nicht gegeben war, und eine Gleichheit der Bewegungsart mit der der Hand in den Carpalgelenken.

Die kuglige Form des Metacarpo-Phalangalgelenkes, die sich durch eine Reihe von Gelenkschnitten feststellen liess, würde an sich der Grundphalange dieselbe Beweglichkeit gestatten, wie das Hüftgelenk dem Femur. Man würde eine Beweglichkeit von 3 Graden der Freiheit haben. Man würde nämlich nicht nur einen beliebigen Punkt der Grundphalange innerhalb der durch die Dimensionen der Knochen und Gelenkflächen gesetzten Grenzen an jede Stelle seiner zugehörigen Kugelfläche bringen können, was 2 Grade der Freiheit bedingt, sondern man würde auch bei Festlegen des Knochenpunktes an einer Stelle seiner Kugelfläche den Knochen noch um eine Achse rotiren können, die durch den Knochenpunkt und den Mittelpunkt der Kugel geht, wie dies beim Femur und Humerus in der That möglich ist, und damit den 3. Grad der Freiheit gewinnen.

Es zeigte sich aber, dass dieser 3. Grad der Freiheit für die betreffenden Metacarpo-Phalangalgelenke fehlte. Der Versuch, der dies ergab, wurde in folgender Weise angestellt. An dem in den Interphalangalgelenken festgestellten ausgestreckten Finger wurde ein 5 mm breiter, 150 mm langer Spiegelstreifen senkrecht zur Längsachse des Fingers befestigt und der reflectirte Streifen des Sonnenlichtes

auf eine grosse, mit weissem Papier bespannte Tafel geworfen. Wenn nun in irgend einer bestimmten Lage der Finger durch seine eigenen Muskeln festgehalten wurde, so ergab sich, dass der Lichtstreifen nicht mehr gedreht werden konnte und ferner, dass derselbe jedesmal, wenn der Finger erst in andere Lagen gebracht und endlich wieder in seine frühere Stellung zurückgeführt wurde, genau mit dem früheren Bilde zusammenfiel.

Diese Beobachtung forderte auf, die Erscheinung genauer zu untersuchen und die Untersuchung zugleich auf das Carpalgelenk auszudehnen, da nach unseren früheren Befunden etwas Aehnliches auch hier sich erwarten liess.

In der Literatur, wenigstens in den Hauptwerken und Handbüchern, die doch den Stand des jetzigen anatomischen Wissens wiedergeben, ist wenig über die kinematischen Verhältnisse dieser Gelenke zu finden. Fast überall wird angegeben, dass das Metacarpo-Phalangalgelenk des 2., 3., 4. Fingers ein Kugelgelenk, freies Gelenk, eine Arthrodie sei. Darüber aber, ob in diesem Gelenke active oder passive Rotationsbewegungen um die Längsachse der Grundphalange, Rollungen, möglich sind, fehlen bestimmte Angaben. Es könnte sein, dass vielleicht eine oder die andere Specialuntersuchung von uns übersehen worden ist. Es lag aber von vornherein gar nicht in unserer Absicht, einen vollständigen historischen Bericht zu geben, sondern es sollte aus der Literatur nur der Nachweis geliefert werden, dass die vorgenommene Untersuchung nach dem jetzigen Stand des anatomischen Wissens berechtigt ist.

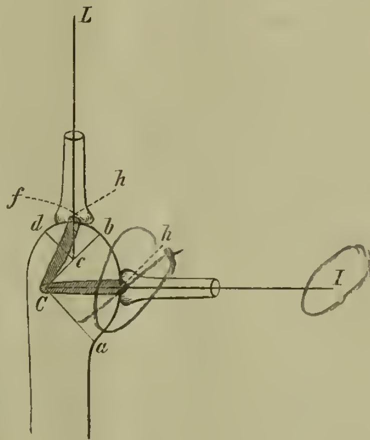
Nach Bichat (Traité d'Anatomie descriptive. Paris 1801. T. I. p. 353) finden sich in den betreffenden Gelenken nur Bewegungen der Flexion, Extension, Adduction und Abduction.

Cruveilhier (Cours d'Études anatomiques. Paris 1830. T. I. 2. p. 957) rangirt das Gelenk unter die articulations condyliennes und schreibt ihm nur die Bewegungen der Flexion, Extension, Adduction und Abduction zu, genau so wie Bichat.

E. H. Weber (Hildebrandt's Anatomie II. Bd. 1833. p. 260) nennt das Gelenk ein freies, eine Arthrodia, so dass es nach allen Gegenden hin bewegt werden kann, spricht aber auch nur von Flexion, Extension, Adduction, Abduction und gibt nichts darüber an, ob auch Rotation um die Längsachse ausführbar sei oder nicht.

Diese Frage nach der Rotation um die Längsachse des bewegten Knochens scheint zuerst Hermann Meyer schärfer ins Auge gefasst zu haben; er schreibt (Lehrbuch der Anatomie, Leipzig 1873. p. 48): »Die gemischte Gelenkfläche ist eine Combination der Cylinderfläche mit einer Kugelfläche in der Art, dass die letztere sich unmittelbar an die erstere anreiht. Die entsprechende Hohlfläche ist ein kleiner Theil einer hohlkugligen Fläche (also eine cavitas glenoides); wenn diese auf der Cylinderfläche steht, sind nur Ginglymusbewegungen möglich. Steht sie dagegen auf der Kugelfläche, so sind die Arthrodiebewegungen möglich; wir nennen deshalb diese Art von Gelenk Ginglymo-Arthrodie. In demselben geschehen die Bewegungen im Sinne des Ginglymus um die Achse der Cylinderfläche, die Arthrodiebewegungen dagegen um den Mittelpunkt der Kugelfläche, welche einen kürzeren Halbmesser hat, als der Cylinder. Zu dieser Art von Gelenken gehören Seitenbänder (ligamenta lateralia), welche während der Ginglymusbewegung gespannt, während der Arthrodiebewegungen dagegen schlaff sind. — Gelenke dieser Art sind z. B. die Metacarpo - Phalangalgelenke der Hand.«

Fig. 1.



Schema der Ginglymo-Arthrodie.

C Mittelpunkt (Seitenansicht der Drehachse) der Ginglymusfläche *ab*, *c* Mittelpunkt der Arthrodiefläche *bd*, *bf* fortgesetzte Peripherielinie der Ginglymusfläche, durch welche es deutlich wird, dass das Lateralband *Ch* in der Stellung *I* des bewegten Knochens gespannt, in der Stellung *L* desselben aber schlaff sein muss.

In dem Schema für diese neue Art von Gelenkform, welches Meyer auf S. 49 abbildet, und das hier in Copie wiedergegeben ist, macht Meyer Angaben über die Form des Gelenkkopfes, die mit unseren Messungen nicht übereinstimmen; denn, wie schon oben angegeben wurde, fanden wir an einer Reihe von Durchschnitten durch die Metacarpusköpfchen, dass es sich, soweit die Gelenkfläche in Frage kommt, hier um eine Kugelfläche handelt. Ferner würde aus den Meyer'schen Angaben eine Incongruenz der

Gelenkflächen resultiren. Denn die Pfanne der Grundphalange kann nicht zugleich auf eine Cylinderfläche und eine Kugelfläche passen, zumal wenn noch die Angabe dazu kommt, dass beide verschieden grosse Radien haben. Auch ist es bemerkenswerth, dass Meyer in seinem Hauptwerke über die Gelenke, welches im gleichen Jahre erschienen ist, auf das wir auch später nochmals zurückkommen müssen, gar nicht den Ausdruck Ginglymo-Arthrodie gebraucht, als er auf das Metacarpo-Phalangalgelenk zu reden kommt (vgl. Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes, 1873).

Trotzdem aber scheint der Name sich einbürgern zu wollen, wenn gleich die Bezeichnung Ginglymo-Arthrodie an sich schon einen inneren Widerspruch enthält. Es wird für Manche wohl durch diesen Namen der Unbequemlichkeit aus dem Wege gegangen, mit einer Gelenkform operiren zu müssen, die nur einen Theil von den Bewegungen zeigt, die man sonst gewohnt ist, aus ihr abzuleiten.

Luschka (Anatomie der Glieder, Tübingen 1865. p. 144), der sonst so peinlich genau ist, acceptirt diesen Ausdruck Ginglymo-Arthrodie. Er sagt wörtlich Folgendes: »Mit den Köpfchen der Mittelhandknochen erzeugen die Grundphalangen der Finger Gelenke, welche sowohl hinsichtlich des Baues, als auch der Function eine derartige Mischung von Charnier und Arthrodie bilden, dass es in gewissem Sinne schon zulässig ist, sie mit H. Meyer als Ginglymo-Arthrodieen zu bezeichnen. Obwohl die Beschaffenheit der Contactflächen die Möglichkeit einer allseitigen Bewegung involvirt, so bleibt doch factisch der starken Seitenbänder wegen [? ?] die Drehung um eine in der Richtung der Fingerlänge verlaufende Achse so gut wie ausgeschlossen, so dass also nur Beugung und Streckung um eine quer, ferner Ab- und Adduction um eine sagittal durch das Capitulum gehende Achse, sowie Kugelbewegungen als Combination aller übrigen Excurse erreichbar sind.«

Nach Hirtl (Anatomie des Menschen. Wien 1875. p. 339) ist die Articulatio metacarpo-phalangea für Zeige-, Mittel-, Ring- und Ohrfinger eine Arthrodie, welche Beugung und Streckung, Zu- und Abziehung, aber keine Achsendrehung des Fingers erlaube.

Nach Krause (Anatomie. Hannover 1879. Bd. II. p. 111 u. f.) repräsentiren die Köpfchen der Metacarpalknochen annähernd Halb-

kugeln, und die Configuration ist also im Allgemeinen einer Arthrodie entsprechend; jedoch ist Adduction und Abduction der Finger nur in der Strecklage und auch in dieser keine Drehung um die Längsachse möglich.

Langer (Anatomie. Wien 1882. p. 78) schreibt: »Der Form der Capitula entsprechend waren in diesen Gelenken Ginglymus-Bewegungen gemacht, mit grösserer Palmarflexion, aber nur geringer Dorsalflexion; ist aber die Phalange in die Strecklage gebracht, so lassen sich auch Lateralbewegungen ausführen.« Von einer Rotation um die Längsachse erwähnt er nichts.

In der Anatomie von Henle (Bänderlehre, 1872. p. 107 u. f.) findet sich neben der genauen und ausführlichen Beschreibung der Bänder nur wenig über die Gelenkbewegungen angegeben. Nach Henle tragen die Köpfchen der Metacarpalknochen kuglige Gelenkflächen von 9 mm Radius. »Die accessorischen Seitenbänder werden durch die Bewegung der Finger gespannt und widersetzen sich alsdann der Rotation der Grundphalange um ihre Längsachse.«

[Eine Rotation wäre also sonst möglich?]

Cruveilhier Fils (Anatomie descriptive. Paris 1877. T. I. p. 385) schreibt dem Gelenke vier Bewegungen zu, von denen zwei limitirt sind; er sagt: »d'après la disposition des surfaces articulaires, il est évident, que celle articulation doit exécuter des mouvements dans les quatre sens principaux et, conséquemment, des mouvements de circumduction.«

Allen Thomson (Quain's Anatomy Vol. I. London 1882. p. 163) findet bei den betreffenden Gelenken keine Rotation, während Reeves (Human Morphology. London 1882. Vol. I. p. 295) ausdrücklich diesen Gelenken Flexion, Extension, Abduction, Adduction, Rotation und Circumduction zuerkennt.

Am Eingehendsten ist das Gelenk in den Specialwerken von Meyer und Henke behandelt worden, die unter dem Titel Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes, Leipzig 1873, und Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke, Leipzig 1863, bekannt sind.

Meyer behandelt in seiner Statik und Mechanik das Metacarpo-Phalangalgelenk viel eingehender, als in seiner Anatomie, macht aber

auffallenderweise keinen Gebrauch von dem durch ihn eingeführten Namen der Ginglymo-Arthrodie.

Er gibt l. c. p. 179 Folgendes an: »Gegen den Mittelhandknochen hat der Finger ein volares Bewegungsvermögen von ungefähr 90°. In der Streckstellung ist die Articulation zwischen der Grundphalanx und dem Capitulum des Metacarpusknochens ein freies Gelenk, in welchem übrigens die Rotation nicht in deutlich erkennbarer Weise in die Erscheinung tritt. In der Beugestellung ist dagegen die Grundphalanx unbeweglich festgestellt durch die straffe Spannung der Lateralbänder. Beim Uebergang in die Beugestellung nehmen die möglichen seitlichen Bewegungen allmählich ab, die flexorischen bleiben zuletzt noch allein übrig, und es erfolgt dann Feststellung.«

Henke (l. c. p. 189) bemerkt Folgendes:

»Alle Fingerglieder passen mit einer Pfanne ihrer Basis auf Gelenkköpfe der Mittelhandknochen oder der denselben näher gelegenen Glieder, welche alle von hinten nach vorn gebogen sind, auf denen sie also um quere Achsen sich drehen, beugen und strecken können. Zwischen den einzelnen Fingergliedern findet keine andere Bewegung statt. Der ganze Finger aber hat gegen die Mittelhand noch geringe andere Verschiebungen. Die Gelenkköpfe der Mittelhandknochen haben ausser der convexen Biegung in der Richtung von hinten nach vorn eine so gut wie vollkommen ebenso starke in der queren Richtung, können also als Stücke von Kugeln betrachtet werden und unterscheiden sich von den kugligen Gelenkköpfen der grossen Arthrodieen nur dadurch, dass das Stück einer Kugeloberfläche, welches sie darstellen, ein länglicher Streifen derselben ist, mit dem grössten Durchmesser von hinten nach vorn, mit dem kleineren in der queren Richtung, so dass die Pfanne, an welcher dieser Unterschied nicht besteht, in der Richtung von hinten nach vorn sehr weit, in querer Richtung dagegen nur wenig über ihn hingleiten kann, ohne den Rand des Kopfes zu erreichen, oder zu überschreiten, so dass schon dadurch die Beugung und Streckung auch hier überwiegend wird. Ausgeschlossen wäre aber durch die Form der Gelenkköpfe keine Art von Drehung um den Mittelpunkt ihrer Krümmung. Nur am vorderen Ende treten zuweilen an den Seitenrändern der Rolle, die hier überhaupt

etwas breiter wird, vorspringende Streifen hervor, die nur von hinten zu vorn gebogen sind, an denen demnach die Pfanne, wenn sie durch Beugung hierhin gekommen ist, nur noch diese einfache Bewegung fortsetzen, aber nicht mehr seitwärts verschoben werden kann.«

Ferner auf p. 191 u. ff.:

»Man könnte zwei Arten Drehung um den Mittelpunkt der Kugel, von welcher der Gelenkkopf ein Streifen ist, annehmen, die ausser der um die quere Achse noch möglich sein müssten, wenn es die Bänder nicht verhinderten, die auch wirklich beide vollkommen rein ausführbar sind, wenn man die Seitenbänder getrennt hat, Drehung um eine der Länge der Finger entlang gerichtete Achse, Rotation, und Drehung um eine von hinten nach vorn gerichtete, Ab- und Adduction. Erstere ist auch bei der Erschlaffung der Seitenbänder in der Streckung so gut wie ganz unmöglich, letztere fast rein und frei ausführbar, jedoch mit einem kleinen Antheil ersterer dabei.«

Aus den Berichten von MEYER und HENKE geht hervor, dass beide Forscher in den Gelenkformen an sich kein Hinderniss für die Rotation um die Längsachse erblicken, die weiterhin von uns ein für alle Mal als Rollung bezeichnet werden soll, um jedem Missverständniss zu begegnen. Darin aber, in wie weit Rollungen an den betreffenden Gelenken wirklich auftreten, scheinen sie zu differiren, oder darüber drücken sie sich wenigstens nicht klar genug aus. Zum Mindesten ist nicht ersichtlich, ob sie Messungen der Rollungen vorgenommen haben und ob sie diese Messungen am todten Gelenk oder an den Bewegungen der lebendigen Hand, wie sie solche selbst ausführt, ohne äussere Gewalt anstellten. Der Satz von MEYER, dass die Rollung in die Erscheinung trete, aber nicht in deutlich erkennbarer Weise, ist nicht recht verständlich und fordert wenigstens zu erneuter Untersuchung des Gegenstandes auf.

Da es sich gleich beim Beginne der Untersuchung zeigte, dass an diesen Gelenken, ebenso wie am Carpalgelenk, die Bewegungsversuche an der todten Hand andere Erscheinungen boten als an der lebenden, so erschien es angezeigt, die lebendige Hand zum Gegenstand der Untersuchungen zu wählen. Die Untersuchungen an der todten Hand geben nur Aufschluss über die Möglich-

keiten der Bewegung im Gelenk, nicht aber darüber, in wie weit von diesen Möglichkeiten im Leben Gebrauch gemacht wird.

Es zeigt sich, dass an der unverletzten todten Hand, also selbst bei Erhaltung der Seitenbänder, bei gewissen Stellungen Rollungen (Rotationen um die Längsachse) im Metacarpo-Phalangalgelenk ausführbar sind, wie sie in gleicher Grösse am Lebenden niemals zur Erscheinung kommen. Daraus schon kann man schliessen, dass die Ursache dieser Beschränkung nicht allein in Bandapparaten und Gelenkformen liegen kann, wie Henke nachzuweisen versucht. Wenn sich aber nun ferner auch am Lebenden noch zeigt, dass die Bewegungen der Grundphalangen andere sind, wenn sie durch äussere Gewalt erzeugt werden, als die, welche die eigenen Muskeln zu Stande bringen, so ist daraus ersichtlich, dass der eigenen Muskelwirkung ein Hauptantheil für diese Beschränkung zuzuschreiben ist.

Es lässt sich leicht constatiren, dass an den Fingern in der Strecklage des Metacarpo-Phalangalgelenkes durch äusseren Eingriff, z. B. durch Angriff der anderen Hand, Rollungen der Grundphalange ausführbar sind, die 50—70 Winkelgrade betragen können, während die eigenen Muskeln des Fingers gar keine Rollung mehr auszuführen vermögen, nachdem sie den Finger in irgend eine Stellung gebracht haben.

Der Spiegelversuch, der gleich anfangs beschrieben worden war, und der den eigentlichen Ausgangspunkt der vorliegenden Untersuchung bildete, der auch mehrfach wiederholt wurde, hatte das Resultat ergeben, dass die Bewegungen der Finger in den Metacarpo-Phalangalgelenken gesetzmässig erfolgen. Wenn man dem Finger eine bestimmte Flexion aufzwingt, die den Finger von irgend einer Ausgangsstellung in eine Secundärstellung bringt, die aber durch die Flexionsgrösse bestimmt ist, so erfolgt dabei ein ganz bestimmter Grad der Rollung (Rotation um die Längsachse) des Fingers, die wir weder beabsichtigen noch verhindern können. Es wird dadurch der Finger für jede Stellung in ganz bestimmter Weise orientirt. Wenn also der Finger von der Lage P in die Lage Q übergeführt wird, mag man diese Bewegung so oft wiederholen als man will, so werden alle Punkte des Fingers immer dieselbe Lage

wieder einnehmen, denn wir vermögen eben nicht den in die Lage Q gebrachten Finger beliebig um seine Längsachse zu rotiren, zu rollen. Dies ist dieselbe Erscheinung, welche für die Bewegungen des Auges als Donders'sches Orientirungsgesetz bekannt ist.

Es handelte sich nun darum, für eine willkürlich gewählte, aber dann fest bestimmte Ausgangsstellung die genauen Werthe der zu irgend einer Secundärstellung gehörenden Rollungen zu messen. Dies hätte sich auch mit dem Spiegelversuch ausführen lassen, jedoch würde die Rechnung ziemlich complicirt und in Folge dessen von sich multiplicirenden Fehlern begleitet gewesen sein. Es wurde deshalb zu einer Vereinfachung der Methode geschritten. Es gelang eine solche zu finden, die allen Anforderungen genügte, für die Rechnung wesentlich einfacher als die Spiegelmethode war, und sich auch als praktisch ausführbar erwies. Die Methode ist folgende:

An dem Finger waren zunächst die Interphalangalgelenke dadurch ausgeschieden und der Finger selbst in einer steifen Streckstellung erhalten, dass eine passende Metallhülse übergesteckt wurde, die von der Spitze des Fingers bis etwa zur Mitte der Grundphalange reichte. An dieser Metallhülse war eine leichte Holznadel in der Verlängerung des Fingers angebracht, an deren Ende ein dünner, gerader Stahldraht von 16 cm Länge rechtwinklig befestigt war. Die Entfernung des Mittelpunktes vom Gelenkköpfchen des Metacarpus bis zum rechtwinkligen Ansatz des Stahldrahtes wurde genau auf 50 cm gebracht. Die Hand wurde nun durch festes Umfassen eines dazu angefertigten passenden Griffes ruhig gelegt, so dass alle Gelenke an der Handwurzel ausgeschieden blieben, was durch einen zweiten Beobachter, der die Hand fest umfasste, noch ausserdem controlirt wurde. Zugleich war auch dadurch das Radio-Ulnargelenk ausgeschieden. Nun wurde der Hand eine solche Stellung gegeben, dass die hinter dem Beobachter stehende Sonne den Schatten des Apparates auf eine mit weissem Papier bespannte Tafel warf, die rechtwinklig zu den Sonnenstrahlen eingestellt ward und eingestellt erhalten wurde, so lange der Versuch dauerte. Dies wurde dadurch ermöglicht, dass eine ganz gerade, dünne, etwa 35 cm lange Holznadel rechtwinklig in die Tafel eingefügt, und die Tafel in eine solche Stellung gebracht wurde, bei der die Nadel keinen Schatten mehr warf. Bei der kurzen Dauer der meisten einzelnen Beobachtungen war es nur selten

nöthig, die Tafel während der Beobachtung in ihrer Lage zu ändern, um sie rechtwinklig zu den Sonnenstrahlen zu erhalten.

Als Ausgangsstellung wurde die ungefähre halbe Beugung des Fingers benutzt, d. h. eine Beugestellung der Grundphalange zum Metacarpus um etwa 45°. — Die Hand wurde nun durch Stellungsänderung des Griffs an einem festen Stativ in eine solche Lage gebracht, dass bei dieser Ausgangsstellung die Längsachse des Fingers, und somit auch der Holznadel, senkrecht zur Tafel orientirt war, also in die Richtung der Sonnenstrahlen fiel, was man leicht an dem Schatten controliren konnte.

Wenn man nun den Finger durch seine eigenen Muskeln von dieser Ausgangsstellung aus bis zu einer anderen Stellung auf dem kürzesten Wege brachte, so dass die Längsachse des Fingers und die Holznadel (ihre Verlängerung) eine Ebene beschrieben, so musste diese Ebene senkrecht zur Projectionstafel stehen, und Alles, was in ihr vorging, musste sich in der durch die Sonnenstrahlen hervorgerufenen Projection, in ihrem Schatten, das ist in diesem Falle eine gerade Linie, abspielen. Die Holznadel war so mit der Hülse verbunden, dass sie sich um ihre Längsachse drehen liess, wodurch es möglich wurde, die Stahlnadel in alle möglichen Richtungen innerhalb der durch sie bestimmten Verticalebene zur Längsachse der Grundphalange zu bringen. Wenn man nun die Stahlnadel von vornherein durch Drehung der Holznadel in die Bewegungsebene, welche durch die Ausgangsstellung und Endstellung der Holznadel bestimmt wird, bringt, so wird zunächst ihre Projection in die Schnittlinie der Bewegungsebene mit der Projectionstafel fallen müssen. Ihr Schatten wird sich also mit dieser Schnittlinie decken. Solange bei dieser Bewegung keine Rollung des Fingers stattfindet, muss die Stahlnadel in der Bewegungsebene bleiben, was man am Schatten daran erkennt, dass derselbe in der Richtung der Schnittlinie bleibt. Jede Winkelbildung des Schattens der Stahlnadel mit der Schnittlinie nach rechts oder links wird eine Rollung des Fingers nach rechts oder links anzeigen, deren Grösse sich aus dem Winkel des Schattens der Stahlnadel mit der Schnittlinie berechnen lässt.

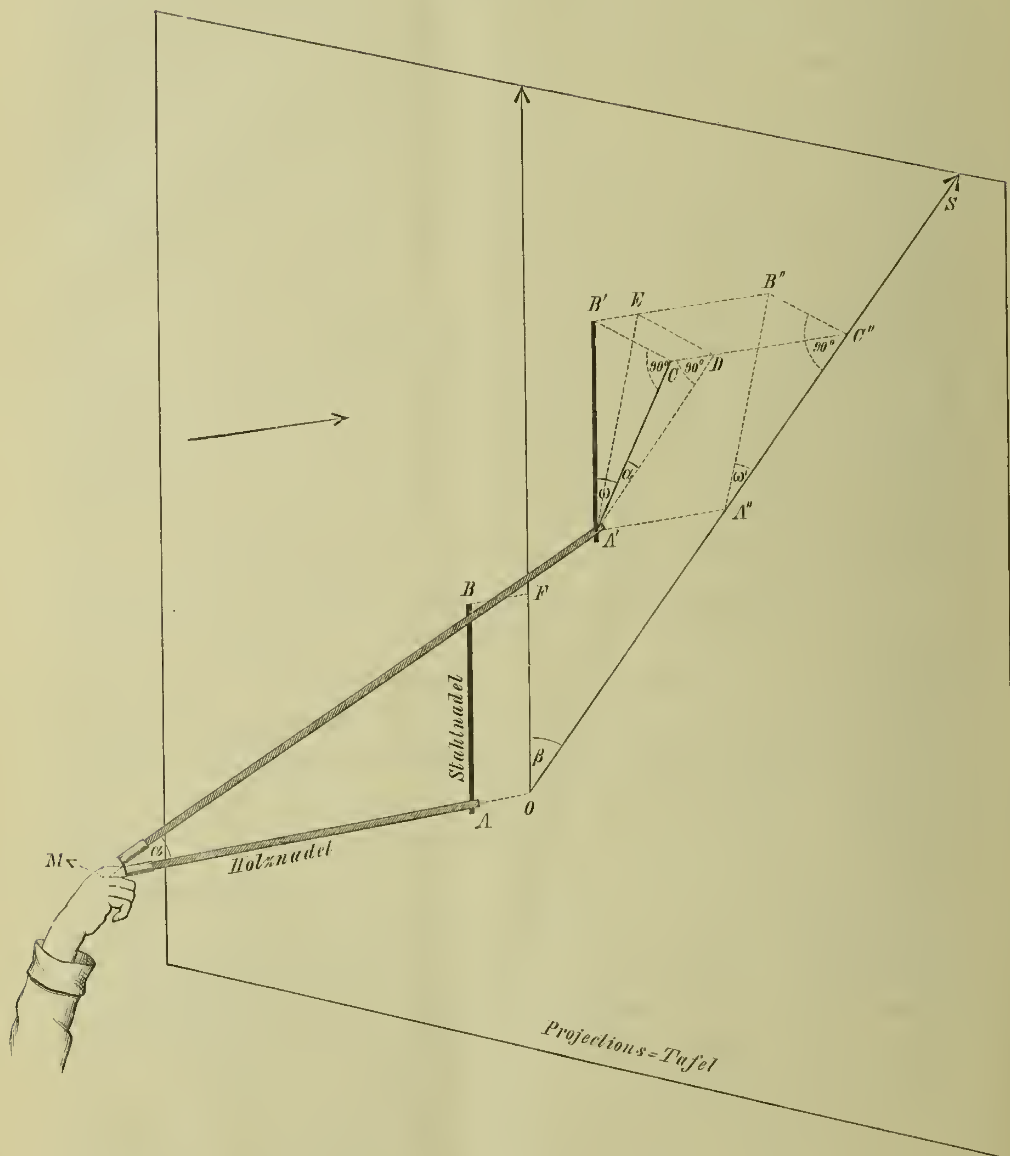
Auf der Projectionstafel hatten wir vom Durchschnittspunkt der zu ihr senkrechten Ausgangsstellung der Längsachse des Fingers aus nach 36, um 10° von einander verschiedenen Richtungen gerad-

linige Strahlen gezogen, die die Schnittlinien von den 36 zugehörigen um 10^{0} zu einander geneigten Bewegungsebenen mit der Projectionstafel darstellen. Um die Grösse der Rollung für die verschiedenen Flexionsrichtungen und Flexionsgrössen zu messen, könnte man nun so verfahren, dass man jedes Mal durch Drehung der Holznadel um ihre Längsachse die Stahlnadel in die Ebene bringt, in welcher man die Bewegung ausführen will. Dies lässt sich daran erkennen, dass ihr Schatten zu Anfang der Bewegung in die zugehörige Schnittlinie fällt. Man hat aber gar nicht nöthig, jedes Mal diese Drehung der Holznadel vor der Bewegung auszuführen; denn, wenn die Stahlnadel in der Ausgangsstellung mit der Bewegungsebene einen Winkel β bildet, so muss, wenn keine Rollung stattfindet, dieser Winkel der Stahlnadel mit der Bewegungsebene constant bleiben. Jede Aenderung dieses Winkels zeigt eine Rollung der Grundphalange an. Je nachdem die Rollung in dem einen oder in dem anderen Sinne stattfindet, wird sich der Winkel vergrössern oder verkleinern. Wenn aus dem Winkel β der Winkel ω am Ende der Flexion geworden ist, so gibt $\beta - \omega$ die Rollung an; der absolute Werth von $\beta - \omega$ liefert die Grösse, das Vorzeichen von $\beta - \omega$ den Sinn der Rollung.

In der Ausgangsstellung der Holznadel ist die Stahlnadel parallel der Projectionstafel. In Folge dessen wird der Winkel β, den die Stahlnadel mit der beabsichtigten Bewegungsebene bildet, sich im Schatten auf der Projectionstafel unverändert einstellen als der Winkel, den der Schatten der Stahlnadel mit der Schnittlinie OS von Bewegungsebene und Projectionstafel bildet. Bei jeder anderen, nicht verticalen, Stellung der Holznadel zur Projectionsebene wird die Stahlnadel im Allgemeinen nicht parallel der Projectionsebene stehen, und in Folge dessen der Winkel ω zwischen Stahlnadel und Bewegungsebene am Ende der Flexion sich im Schatten nicht direct einstellen. Es wird der Schatten der Stahlnadel mit der Schnittlinie einen Winkel ω' bilden, der von ω verschieden ist, mit Hülfe dessen man aber den Werth von ω gewinnen kann.

In der Figur 2 auf S. 14 sei M der Mittelpunkt des feststehenden Metacarpusköpfchens des 2. Fingers, MA die Längsachse des Fingers und AB die Stahlnadel in der Anfangsstellung; dann ist $AB \parallel$ der Projectionstafel, und der Winkel β, den die Projection OF von AB mit der Schnittlinie OS, welche die Bewegungsrichtung angibt, bildet,

Fig. 2.



B'
E
B''
C''
90°
90°
C
90°
D
S
α
ω
ω'
A''
A'
B
F
Stahlnadel
β
0
A
M
α
Holznadel
Projections=Tafel

ist direct der Winkel zwischen der Bewegungsebene und der Stahlnadel in der Anfangsstellung. Nach der Flexion von der Grösse α in der Richtung OS sei die Längsachse des Fingers in die Lage MA' gekommen, so dass also MA' mit MA den Winkel α bildet. Die Projection von A' sei der Punkt A'', der natürlich in der Schnittlinie OS liegen muss. Die Stahlnadel hat jetzt die Lage $A'B'$ eingenommen und ist im Allgemeinen nicht mehr parallel der Projectionsebene; deshalb ist der Winkel ω', welchen ihre Projection $A''B''$ mit OS bildet, nicht gleich dem Winkel ω, den jetzt die Stahlnadel mit der Bewegungsebene einschliesst.

Zur Berechnung von ω aus ω' denke man sich in A' in der Bewegungsebene eine Senkrechte auf der Längsachse des Fingers errichtet und von B' aus auf diese Senkrechte ein Loth gefällt, welches letztere in C trifft. Die Projection von C sei C''. Der Winkel, den die Senkrechte $A'C$ mit $A'B'$ bildet, ist dann der Winkel ω, den die Stahlnadel $A'B'$ mit der Bewegungsebene einschliesst; denn die Ebene des Dreiecks $A'B'C$ steht senkrecht zur Bewegungsebene, da sie zur Normalen in A' die Strecke MA' hat und letztere in der Bewegungsebene selbst liegt. Aus diesem Grunde steht $B'C$ auch senkrecht auf der Bewegungsebene und ebenso die Ebene $B'CC''B''$, welche $B'C$ auf die Projectionstafel projicirt. Da nun die Projectionstafel ebenfalls senkrecht zur Bewegungsebene gerichtet ist, so wird auch die Projection $B''C''$ von $B'C$ senkrecht auf der Bewegungsebene stehen, also $B''C''$ parallel mit $B'C$ verlaufen.

Die Linie $A'C$ ist zur Projectionstafel um den Winkel α geneigt. Dies folgt daraus: Zieht man von A' aus in der Bewegungsebene eine Parallele zu OS, so wird dieselbe von dem Projectionsstrahl CC'' geschnitten, da sie mit CC'' in derselben Ebene, nämlich der Bewegungsebene, liegt. Der Schnittpunkt sei D. Dann ist der Winkel $CA'D$ der Neigungswinkel der Strecke $A'C$ zur Projectionstafel. Die Schenkel $A'C$ und $A'D$ dieses Winkels stehen bezüglich senkrecht auf den Strahlen MA' und MO, d. h. auf den Schenkeln des Winkels $A'MO$; folglich ist der Winkel $CA'D$ gleich dem Winkel $A'MO$, und da Winkel $A'MO$ der Flexionswinkel α ist, so ist also

$$\text{Winkel } CA'D = \text{Winkel } \alpha.$$

Ferner ist CC'' als Projectionsstrahl senkrecht auf $A''C''$; folg-

lich ist CC'' auch senkrecht auf $A'D$, weil $A'D \parallel A''C''$; das Dreieck $A'CD$ ist also ein rechtwinkliges mit dem rechten Winkel bei D.

Nun sind auch die beiden Dreieke $A'B'C$ und $A''B''C''$ rechtwinklig. Das erste hat nämlich den rechten Winkel nach Construction bei C, das letztere bei C'', da $B''C''$ senkrecht auf der Bewegungsebene steht. Nun ist aber $B'C \parallel B''C''$ und da $B'B''$ und $C'C''$ als Projectionsstrahlen auch parallel laufen, so haben wir in $B'CB''C''$ ein Parallelogramm mit lauter rechten Winkeln, also ein Rechteck. Daraus folgt, dass

die Seite $B'C$ im Dreieck $A'B'C$ gleich
der Seite $B''C''$ im Dreieck $A''B''C''$

(als Gegenseiten im Rechteck) ist.

Ferner haben wir auch in $A'DC''A''$ ein Rechteck, weil $A'D \parallel A''C''$ und $A'A'' \parallel DC''$ (als Projectionsstrahlen), und die Winkel $A'A''C''$ und $DC''A''$ rechte Winkel sind, da es sich um rechtwinklige Projection handelt.

Aus diesem Grunde ist

$$A'D = A''C''.$$

Bezeichnet man nun für einen Augenblick die Länge der Stahlnadel AB, resp. $A'B'$ mit e, dann ist im rechtwinkligen Dreieck $A'B'C$:

$$B'C = e \,.\, \sin\omega \text{ und } A'C = e \,.\, \cos\omega,$$

im rechtwinkligen Dreieck $A'CD$:

$$A'D = A'C \,.\, \cos\alpha = e \,.\, \cos\omega \,.\, \cos\alpha$$

und im rechtwinkligen Dreieck $A''B''C''$,

da $B'C = B''C''$ und $A'D = A''C''$:

$$B''C'' = e \,.\, \sin\omega \text{ und } A''C'' = e \,.\, \cos\omega \,.\, \cos\alpha \,.$$

Nun ist in demselben Dreieck

$$\tan\omega' = \frac{B''C''}{A''C''}, \text{ folglich haben wir}$$

$$\tan\omega' = \frac{e \,.\, \sin\omega}{e \,.\, \cos\omega \,.\, \cos\alpha} = \frac{\tan\omega}{\cos\alpha},$$

da $\frac{\sin\omega}{\cos\omega} = \tan\omega$ ist und e aus Zähler und Nenner sicht forthebt. Die Gleichung kann man auch in der Form schreiben:

$$\tan\omega = \tan\omega' \cos\alpha.$$

Mit Hülfe dieser Gleichung sind wir also in der Lage, aus dem

Winkel ω', den der Schatten der Stahlnadel in der Secundärlage mit der auf der Projectionstafel aufgezeichneten Bewegungsrichtung *OS*, d. h. der Schnittlinie der zur Projectionstafel senkrechten Bewegungsebene mit der Projectionstafel, bildet und aus der bekannten Flexionsgrösse α den Winkel ω zu berechnen, den am Ende der Flexion die Stahlnadel mit der Bewegungsebene einschliesst. In der Ausgangsstellung *MA* der Holznadel hatten wir die Stahlnadel *AB* in die Bewegungsebene der Dorsalflexion gebracht.

Wenn *OS* den Winkel β mit *OF* bildet, d. h. wenn die neue Bewegungsebene zur verticalen, der reinen Dorsal- und Volarflexion angehörenden Bewegungsebene um den Winkel β geneigt ist, so haben wir dann in $\beta - \omega$, wie wir früher schon sahen, direct die Grösse der Rollung des Fingers bei der Flexion in der neuen Bewegungsebene. Es drückt sich daher die Rollung, d. h. die Rotation um die Längsachse des Fingers, aus den bekannten, direct messbaren Winkeln β, ω', α in folgender Weise aus:

$$\text{Rollung} = \beta - \text{arctang}\ (\text{tang}\ \omega' \,.\, \cos \alpha).$$

Mit Hülfe dieser Formel haben wir nun nach einer Reihe von Beobachtungen, die uns für bestimmte Werthe von α und β den zugehörigen Werth von ω', oder vielmehr von tang ω' lieferten, die Rollung berechnet, welche zu der durch α und β bestimmten Stellung der Fingerlängsachse gehört.

Da wir die Ausgangsstellung senkrecht zur Projectionstafel, also parallel den Sonnenstrahlen genommen hatten, so werden die Schatten der Holznadelspitze für gleiche Werthe der Flexion α auf einem Kreise mit dem Mittelpunkt *O* liegen. Der Radius dieses Kreises ist gleich dem Sinus α multiplicirt mit der Entfernung der Holznadelspitze vom Mittelpunkte des Gelenkes.

Da wir, wie schon erwähnt, diese Entfernung auf 50 cm normirt hatten, so ist der Radius dieses Kreises von vornherein bekannt, nämlich gleich 50 sin α cm. Wir sind also in der Lage vor Beginn des Versuchs auf der Projectionstafel die Stellen zu markiren, welche zu bestimmten Werthen von α gehören. Wir hatten vier Kreise eingezeichnet, welche bezüglich $\alpha = 5^0$, 10^0, 15^0 und 20^0 entsprechen. Ferner waren in 36 verschiedenen, um je 10^0 zu einander geneigten Richtungen von *O* aus Strahlen *OS* gezogen, deren jeder zu einem bestimmten Werth von β gehört. Wir wollen β

positiv rechnen, wenn der Strahl OS auf der Ulnarseite von der Verticalen, also vom Beobachter aus gesehen nach rechts, und negativ, wenn OS auf der Radialseite von der Verticalen, also nach links verläuft. Dann war man durch die auf der Projectionstafel eingezeichneten Kreise und Strahlen in der Lage, der Längsachse des Fingers eine solche Stellung zu geben, für die α und β bekannt sind, nämlich für die α einen der Werthe 5°, 10°, 15° oder 20° und β zugleich einen der Werthe $\pm n \cdot 10^0$ (wo $n = 0, 1, 2 \ldots\ldots$) besitzt.

In folgender Tabelle sind die zu verschiedenen der angegebenen Werthe von α und β gehörenden Werthe von tang ω', die man auf der Tafel abmessen konnte, niedergelegt. Wir haben freilich nicht alle Werthcombinationen von α und β ausgenützt, wozu wir auch nicht in der Lage waren, da an vielen Stellen der Schatten des eigenen Körpers und des Stativs, an welchem der Griff für die Hand befestigt war, die Messung von tang ω' unmöglich machten. An solchen Stellen ist in der folgenden Tabelle für die Werthe von tang ω' das zugehörige Feld offen gelassen.

Tabelle für tang ω'.

Radialseite.					Ulnarseite.				
β	$\alpha = 20^0$	$\alpha = 15^0$	$\alpha = 10^0$	$\alpha = 5^0$	β	$\alpha = 5^0$	$\alpha = 10^0$	$\alpha = 15^0$	$\alpha = 20^0$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
— 10°	—	—	—0,12	— 0,14	+ 10°	+0,145	—	—	+0,09
— 20°	—0,263	—0,275	—0,282	— 0,275	+ 20°	—	—	—	+0,25
— 30°	—0,426	—0,45	—0,445	— 0,45	+ 30°	—	—	—	+0,435
— 40°	—0,606	—0,67	—0,675	— 0,68	+ 40°	—	—	+0,676	+0,632
— 50°	—	—0,93	— 0,895	— 0,98	+ 50°	—	—	+0,89	—
— 60°	—	—1,19	—1,22	— 1,44	+ 60°	—	—	+1,23	—
— 70°	—	—	—1,695	— 2,18	+ 70°	—	—	—	—
— 80°	—	—	—2,685	— 3,79	+ 80°	—	—	—	—
— 90°	—	—	—	—11,44	+ 90°	—	—	—	—
—100°	—	—	∞	+12,76	+100°	—	—	—	—
—110°	—	—	+5,78	+ 4,245	+110°	—	—	—	—
—120°	—	+2,91	+2,74	+ 2,435	+120°	—	—	—	—
—130°	—	—	+1,54	+ 1,62	+130°	—	—	—	—
—140°	—	+1,24	+1,04	+ 1,09	+140°	—	—	—	—
—150°	—	+0,8	+0,72	+ 0,724	+150°	—	—	—	—
—160°	—	—	+0,468	—	+160°	—	—	—	—
—170°	—	+0,216	+0,244	—	+170°	—	—	—	—
—180°	—	0	0	—	+180°	—	—	—	—

($\beta = 0^0$ entspricht der Dorsal-Volarflexion.)

Aus vorstehender Tabelle für tang ω' gewinnt man dann ohne Weiteres die entsprechende Tabelle für tang ω mit Hülfe der Gleichung

$$\text{tang } \omega = \text{tang } \omega' \,.\, \cos \alpha.$$

Es ist
$$\cos 5^0 = 0{,}996$$
$$\cos 10^0 = 0{,}985$$
$$\cos 15^0 = 0{,}966$$
$$\cos 20^0 = 0{,}94\ .$$

Die Multiplication mit diesen entsprechenden Factoren ergiebt folgende Werthe:

Tabelle für tang ω

(tang ω = tang ω' . cos α).

Radialseite.

β	$\alpha = 20^0$	$\alpha = 15^0$	$\alpha = 10^0$	$\alpha = 5^0$
0	0	0	0	0
— 10°	—	—	—0,118	— 0,139
— 20°	—0,247	—0,266	—0,278	— 0,274
— 30°	—0,4	—0,435	—0,438	— 0,448
— 40°	—0,57	—0,647	—0,665	— 0,677
— 50°	—	—0,898	—0,882	— 0,976
— 60°	—	—1,1495	—1,202	— 1,43
— 70°	—	—	—1,67	— 2,171
— 80°	—	—	—2,645	— 3,774
— 90°	—	—	—	—11,394
—100°	—	—	∞	+12,708
—110°	—	—	+5,693	+ 4,228
—120°	—	+2,811	+2,7	+ 2,425
—130°	—	—	+1,52	+ 1,613
—140°	—	+1,198	+1,02	+ 1,086
—150°	—	+0,773	+0,71	+ 0,721
—160°	—	—	+0,461	—
—170°	—	+0,209	+0,24	—
—180°	—	0	0	—

Ulnarseite.

β	$\alpha = 5^0$	$\alpha = 10^0$	$\alpha = 15^0$	$\alpha = 20^0$
0	0	0	0	0
+ 10°	+0,144	—	—	+0,085
+ 20°	—	—	—	+0,235
+ 30°	—	—	—	+0,409
+ 40°	—	—	+0,653	+0,594
+ 50°	—	—	+0,86	—
+ 60°	—	—	+1,188	—
+ 70°	—	—	—	—
+ 80°	—	—	—	—
+ 90°	—	—	—	—
+100°	—	—	—	—
+110°	—	—	—	—
+120°	—	—	—	—
+130°	—	—	—	—
+140°	—	—	—	—
+150°	—	—	—	—
+160°	—	—	—	—
+170°	—	—	—	—
+180°	—	—	—	—

Die trigometrischen Tafeln liefern für die Winkel ω die Werthe:

Tabelle für ω.

Radialseite. — Ulnarseite.

β	α = 20°	α = 15°	α = 10°	α = 5°	β	α = 5°	α = 10°	α = 15°	α = 20°
0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
— 10°	—	—	— 6° 40′	— 8°	+ 10°	+ 8° 10	—	—	+ 4° 50′
— 20°	— 13° 50′	— 14° 50′	— 15° 30′	— 15° 20′	+ 20°	—	—	—	+ 13° 10′
— 30°	— 21° 50′	— 23° 30′	— 23° 40′	— 24° 10′	+ 30°	—	—	—	+ 22° 20′
— 40°	— 29° 40′	— 32° 50′	— 33° 40′	— 34° 10′	+ 40°	—	—	+ 33° 10′	+ 30° 40′
— 50°	—	— 41° 50′	— 41° 30′	— 44° 20′	+ 50°	—	—	+ 40° 40′	—
— 60°	—	— 49°	— 50° 20′	— 55°	+ 60°	—	—	+ 50°	—
— 70°	—	—	— 59° 10′	— 65° 10′	+ 70°	—	—	—	—
— 80°	—	—	— 69° 20′	— 75° 10′	+ 80°	—	—	—	—
— 90°	—	—	—	— 85°	+ 90°	—	—	—	—
— 100°	—	—	— 90°	— 94° 30′	+ 100°	—	—	—	—
— 110°	—	—	— 100°	— 103° 20′	+ 110°	—	—	—	—
— 120°	—	— 109° 30′	— 110° 20	— 112° 30′	+ 120°	—	—	—	—
— 130°	—	—	— 123° 20′	— 121° 50′	+ 130°	—	—	—	—
— 140°	—	— 129° 50′	— 134° 30′	— 132° 40′	+ 140°	—	—	—	—
— 150°	—	— 142° 20′	— 144° 40′	— 144° 10′	+ 150°	—	—	—	—
— 160°	—	—	— 155° 10′	—	+ 160°	—	—	—	—
— 170°	—	— 168° 10′	— 166° 30′	—	+ 170°	—	—	—	—
— 180°	—	— 180°	— 180° —	—	+ 180°	—	—	—	—

Hieraus folgt dann für die Grösse der Rollung β—ω:

Tabelle für die Rollung (β—ω).

Radialseite. — Ulnarseite.

β	α = 20°	α = 15°	α = 10°	α = 5°	β	α = 5°	α = 10°	α = 15°	α = 20°
0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
— 10°	—	—	— 3° 20′	— 2°	+ 10°	+ 1° 50′	—	—	+ 5° 10′
— 20°	— 6° 10′	— 5° 10′	— 4° 30′	— 4° 40′	+ 20°	—	—	—	+ 6° 50′
— 30°	— 8° 10′	— 6° 30′	— 6° 20′	— 5° 50′	+ 30°	—	—	—	+ 7° 40′
— 40°	— 10° 20′	— 7° 10′	— 6° 20′	— 5° 50′	+ 40°	—	—	+ 6° 50′	+ 9° 20′
— 50°	—	— 8° 10′	— 8° 30′	— 5° 40′	+ 50°	—	—	+ 9° 20′	—
— 60°	—	— 11°	— 9° 40′	— 5°	+ 60°	—	—	+ 10°	—
— 70°	—	—	— 10° 50′	— 4° 50′	+ 70°	—	—	—	—
— 80°	—	—	— 10° 40′	— 4° 50′	+ 80°	—	—	—	—
— 90°	—	—	—	— 5°	+ 90°	—	—	—	—
— 100°	—	—	— 10°	— 5° 30′	+ 100°	—	—	—	—
— 110°	—	—	— 10°	— 6° 40′	+ 110°	—	—	—	—
— 120°	—	— 10° 30′	— 9° 40′	— 7° 30′	+ 120°	—	—	—	—
— 130°	—	—	— 6° 40′	— 8° 10′	+ 130°	—	—	—	—
— 140°	—	— 10° 10′	— 5° 30′	— 7° 20′	+ 140°	—	—	—	—
— 150°	—	— 7° 40′	— 5° 20′	— 5° 50′	+ 150°	—	—	—	—
— 160°	—	—	— 4° 50′	—	+ 160°	—	—	—	—
— 170°	—	— 1° 50′	— 3° 30′	—	+ 170°	—	—	—	—
— 180°	—	0°	0°	—	+ 180°	—	—	—	—

Aus der letzten Tabelle geht hervor, dass bei den Bewegungen des Zeigefingers eine Rollung stattfindet, wenn man von der oben erwähnten Mittelstellung des Fingers aus Flexionen in verschiedenen Richtungen ausführt, wobei unter Flexionen alle Bewegungen in allen möglichen Richtungen verstanden werden, so dass unter diesen allgemeinen Begriff auch die Abductions- und Adductionsbewegungen fallen, die wir sonst wie früher als Ulnarflexion und Radialflexion bezeichnen. Wenn der Finger nach der Ulnarseite (Kleinfingerseite) in irgend einer Richtung flectirt wird, so findet, wie aus der Tabelle ersichtlich ist, für den Beobachter am eigenen Finger gleichzeitig eine Rollung um die Längsachse statt, in demselben Sinne, wie sich der Zeiger an der Uhr bewegt, oder in gleichem Sinne, wie die Supinationsbewegung des zugehörigen Radius. Wird der Finger in irgend einer Richtung nach der Radialseite hin bewegt, so findet auch eine Rollung um die Längsachse statt, aber in entgegengesetztem Sinne, also gleichartig wie die Pronationsbewegung des zugehörigen Radius. Die Rollung erreichte bei den gemessenen Bewegungen im Maximum eine Grösse von 11°.

Nur bei den Flexionen in der Volar-Dorsalebene zeigte sich keine Rollung.

Je grösser die Flexion, desto grösser stellt sich die Rollung heraus. Hier muss übrigens ausdrücklich bemerkt werden, dass wir uns nur in mittleren Flexionsstellungen bewegten, weil wir fürchteten, bei Bewegungen bis an die Grenzen der Möglichkeit gewaltsame Anstrengungen anzuwenden, welche leicht die Hand aus ihrer Lage bringen konnten, eine Ruhelage, die auch so schon schwer genug festzuhalten war.

Es wurde deshalb die ruhige Haltung der Hand bei allen Bewegungen sorgsam controlirt.

Bei grösseren Flexionsgrössen hätte sich voraussichtlich auch die Rollung vergrössert.

Aus der Tabelle ist fernerhin, soweit sie vollständig ist, ersichtlich, dass für zur Verticalebene symmetrische Bewegungen des Fingers um dieselbe Flexionsgrösse (soweit sie innerhalb der Bewegungsgrenzen fallen) sich auch mit grosser Annäherung gleiche Rollungsgrössen, nur in entgegengesetztem Sinne, einstellen.

Nachdem für unsere zunächst beliebig angenommene Ausgangsstellung bei den Flexionen in allen möglichen Richtungen, mit Ausnahme der reinen Volar-Dorsalflexion erkennbare Rollungen aufgetreten waren, musste es die weitere Aufgabe sein, zu prüfen, ob sich auch für alle übrigen Ausgangsstellungen Rollungen einstellen; denn es musste ja die Möglichkeit ins Auge gefasst werden, dass die Anordnung der bewegenden Muskeln hier eine ähnliche ist, wie beim Auge, an dem es bekanntlich eine Stellung gibt, von der aus die Muskeln die Bewegungen auslösen ohne jegliche Rollung (Raddrehung der Iris). Diese Stellung, die am Auge als Primärstellung bezeichnet wird (Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik, Leipzig 1867, p. 463), suchten wir nun am Finger zu bestimmen und werden sie, wenn sich eine solche auffinden lässt, auch als Primärstellung einführen. Wenn eine solche Primärstellung für den Finger überhaupt existirt, so kann sie nur oberhalb, also dorsalwärts von unserer bisherigen Ausgangsstellung liegen; denn für alle Stellungen unterhalb der Primärstellung müssen die Rollungen in dem oben angeführten Sinne auftreten, für alle Stellungen oberhalb der Primärstellung aber gerade im entgegengesetzten Sinne (Helmholtz a. a. O. p. 463).

Da wir aus unseren Beobachtungen ersahen, dass bei der reinen Dorsal-Volarflexion keine Rollung auftrat, so war dadurch schon die Ebene bestimmt, in welcher allein die gesuchte Primärstellung, falls sie überhaupt vorhanden und auffindbar war, liegen konnte.

Wir gingen daher in dieser Ebene mit dem Finger dorsalwärts bis zur völlig gestreckten Lage, in welcher er die Verlängerung seines Metacarpalknochens bildet und konnten uns alsbald überzeugen, dass dies die gesuchte Primärstellung war.

Wenn man nämlich in dieser Lage den Finger senkrecht zur Projectionstafel stellte, so konnte man in jeder beliebigen Flexionsebene den Finger bewegen, ohne dass eine Rollung auftrat. Es blieb immer der Schatten der vorher in die Bewegungsebene eingestellten Stahlnadel in der Schnittlinie, welche diese Flexionsebene mit der zu ihr senkrechten Projectionstafel bildete. Es mag hierbei nochmals erwähnt werden, dass auch bei diesen Versuchen die Projectionstafel fortwährend senkrecht zu den Sonnenstrahlen gerichtet blieb.

Es zeigt sich also hier dasselbe Gesetz für die Bewegungen des

Fingers wie am Auge (Listing'sches Gesetz). Der Versuch wurde an drei Individuen mit übereinstimmendem Befunde angestellt und mehrmals wiederholt.

Nun ist allerdings die physiologische Bedeutung des Gesetzes der constanten Orientirung für das Auge (Donders) sofort ersichtlich, weil beim Richten des Blickes von einem Punkt nach einem anderen beim Wiederholen dieser Bewegung jedesmal nicht nur derselbe Grad der Flexion, sondern auch derselbe Grad der Rollung (Rotation, Raddrehung) sich einstellt, sodass dieselben Punkte der Retina wieder von denselben Lichtstrahlen getroffen werden. Für den Finger ist so ohne Weiteres dieser physiologische Effect nicht zu übersehen, und es muss weiteren Arbeiten vorbehalten werden, den physiologischen Werth dieses Bewegungsgesetzes für den Finger klar zu legen. Soviel ist aber sicher, dass, wenn wir den Finger als Tastorgan gebrauchen, um z. B. im Dunkeln an Stelle des Auges uns durch Tasten Vorstellungen von bestimmten Formen der Aussenwelt zu verschaffen, es gewiss für die Orientirung nicht ohne Bedeutung ist, dass jedesmal dieselben Stellen der Fingerspitzen bei Wiederholung der Bewegung mit denselben Stellen eines ruhenden betasteten Gegenstandes zusammenfallen.

Bei den anderen Fingern stellte sich bei wiederholten Versuchen ganz dasselbe Bewegungsgesetz heraus. Nur vom Daumen und Kleinfinger vermögen wir nichts zu berichten, da wir an diesen Fingern, die am Rande der Hand liegen, noch keine Beobachtungen angestellt haben.

Dagegen erschien es uns erforderlich, die analogen Versuche am Handgelenk anzustellen. Die Versuche waren hier ziemlich erschwert, weil die Fixirung des Vorderarmes und damit die Verhinderung der Radiusrotation nur sehr schwer zu bewerkstelligen war. Das totale Eingypsen des Vorderarmes führte zu nichts, da innerhalb der Gypshülse die Weichtheile so nachgiebig blieben, dass immer noch Rotationen des Radius um die Ulna innerhalb der verschiebbaren Weichtheile des Vorderarmes auch im festesten Gypsverbande ausführbar waren.

Sicher vermochten wir dagegen die Radiusbewegungen auszuschliessen, wenn wir den entblössten Vorderarm mit mittlerer Pronationsstellung in eine angegossene, oben offene, halbe Gypsrinne legten, die auf der einen Seite bis in die Nähe des Handgelenkes, auf der anderen Seite bis in die Mitte des gebeugten Oberarmes reichte, und wenn wir dann mittels einer anschraubbaren Pelotte den Radiusknochen fest an seine Unterlage andrückten. Dabei wurde eine weitere Controle über die Ausschliessung der Radiusrotation noch dadurch ausgeübt, dass ein zweiter Beobachter auf das Köpfchen der Ulna drückte und dafür sorgte, dass auch die Ulna sich nicht aus ihrer Lage bewegte. Hierdurch ward jede Bewegung des Vorderarmes bei den Bewegungen der Hand sicher ausgeschlossen.

Bei den nun ausgeführten Bewegungen der Hand, die auf dieselbe Weise registrirt wurden, wie vorher der Zeigefinger, liess sich constatiren, dass das Gesetz der constanten Orientirung auch für die Bewegungen im Handgelenk gilt.

Sobald man das Schattenbild oder auch das Spiegelbild an irgend eine Stelle der Projectionstafel gebracht hatte, liess sich dasselbe wiederholt an dieselbe Stelle nur mit wieder genau derselben Orientirung bringen, und jeder Versuch durch Rollung (Rotation um die Längsachse des dritten Metacarpusknochen) an derselben Stelle das Bild zu drehen, machte sich für den zweiten Beobachter sofort an den Vorderarmknochen bemerklich, war also nur durch Bewegung im Radio-Ulnargelenk möglich, nicht aber durch Rollung im Handgelenk selbst.

Es ergab sich ferner, dass auch für die Hand eine Primärstellung existirt, von der aus die Flexionen in allen möglichen Richtungen reine Rotationen sind, ohne jegliche Rollung, dass also auch das Listing'sche Gesetz für die Hand Gültigkeit hat.

Wie die Muskeln um jeden der drei untersuchten Finger sich so gruppiren, dass sie Rücken- und Volarseite, Radial- und Ulnarrand des Fingers anfassen, also in ähnlicher Richtung wie die vier graden Augenmuskeln, wenn dieselben alle wirklich gerade am Auge angriffen, so gruppiren sich auch für das Handgelenk als Muskeln des Ulnarrandes der Ulnaris externus und internus, als Muskeln des Radialrandes der Radialis internus und die externi mit Abductor pollicis longus, für die Streckseite die Streck- und für die Volarseite

die Beugemuskeln. Es muss einer weiteren Untersuchung vorbehalten bleiben, diese Verhältnisse der Muskelansätze und der Muskelwirkung genauer festzustellen, wozu wir eben erst durch die Kenntniss des Bewegungsgesetzes in den Stand gesetzt werden.

Um die Resultate kurz zusammenzufassen, ergiebt sich aus der vorliegenden Untersuchung, dass für die Bewegungen der drei mittelsten Finger im Metacarpo-Phalangalgelenk und für die Bewegungen im Handgelenk dasselbe Gesetz der constanten Orientirung gilt wie beim Auge.

Darin liegt ein ganz wesentlicher Unterschied zwischen diesen Gelenken und den Gelenken am Oberarm und am Oberschenkel. Während man an letzteren Gelenken, nachdem man den Oberarmknochen resp. den Femur in eine bestimmte Lage flectirt hat, immer noch in dieser Lage Rollungen (Rotationen um die Längsachse des Knochens) ausführen kann, ist dies für die ersteren Gelenke nicht mehr möglich. Aus diesem Grunde zeigen die bewegten Knochen bei jenen Gelenken, wenn sie wieder in dieselbe Stellung flectirt werden, immer wieder dieselbe Orientirung; die dabei gleichzeitig erfolgende Rollung (Rotation um die Längsachse) zeigt also immer wieder denselben Werth. Kinematisch betrachtet stellen das Humerusgelenk und das Hüftgelenk in ihren Functionen Mechanismen dar mit drei Graden der Freiheit, während das Handgelenk und die drei mittelsten Metacarpo-Phalangalgelenke für ihre resultirenden Bewegungen nur zwei Grade der Freiheit besitzen. Die Metacarpo-Phalangalgelenke schliessen durch ihren Gelenkbau an sich nicht den dritten Grad der Freiheit aus; denn sie lassen in der That eine Rollung (Rotation um die Längsachse des Fingers) zu, wenn man mit äusserer Gewalt den Finger dreht, also ihn passiv bewegt, aber die Anordnung und gleichzeitige Wirkung der einzelnen Muskeln ist eine solche, dass bei den willkürlichen Bewegungen von diesem dritten Grade der Freiheit, d. h. von dieser Rollungsmöglichkeit kein Gebrauch gemacht wird. Genau dieselben Verhältnisse zeigen sich, wie längst bekannt, beim Auge. Auch hier tritt, trotz des Kugelgelenkes, welches an sich die drei Grade der Freiheit zulassen würde, nur eine Beweglichkeit von zwei Graden der Freiheit auf; denn wir sind nicht im Stande, bei irgend einer Stellung des Auges noch eine Rollung

(Rotation um die Blicklinie) des Auges willkürlich auszuführen, so dass die Iris dabei eine Raddrehung macht.

Somit wird jede Flexionsbewegung, die man dem bewegten Knochen vorschreibt, zu einer Zwangsbewegung, was beim Humerus und beim Femur nicht der Fall ist. Und zwar ist diese Bewegung deshalb eine Zwangsbewegung zu nennen, weil sie nur auf einerlei Weise auszuführen ist, während z. B. der Humerus eine vorgeschriebene Flexion auf beliebig viel Arten ausführen kann, da man im Stande ist, während der Flexion den Knochen in beliebiger Weise um seine Längsachse zu drehen.

Es finden also die Flexionsbewegungen in den hier behandelten Metacarpo-Phalangalgelenken und im Handgelenk von irgend einer zunächst beliebig gewählten aber dann festgehaltenen Ausgangsstellung der Längsachse des bewegten Knochens aus in gesetzmässiger Weise statt, während für die Flexionsbewegungen des Humerus von einer bestimmten Anfangsstellung aus kein Gesetz existirt. Diese Gesetzmässigkeit der Bewegungen in jenen Gelenken drückt sich nach unseren Untersuchungen so aus, dass für die hier behandelten Gelenke von einer einzigen bestimmten Stellung der bewegten Knochen aus die Flexionen ohne Rollung stattfinden, während eine solche für alle übrigen Ausgangsstellungen vorhanden war, wenn auch stets in bestimmter Grösse. Für diese ausgezeichnete Stellung wurde die für die Augenbewegungen gebräuchliche Bezeichnung Primärstellung eingeführt. Es lässt sich das Gesetz der Bewegungen in den betreffenden Metacarpo-Phalangalgelenken und im Handgelenk auch so aussprechen, dass die Flexionen in diesen Gelenken von der Primärstellung der Längsachse des bewegten Knochens aus reine Rotationen (Flexionen, nicht Rollungen) um Achsen sind, die alle zu dieser Primärstellung senkrecht stehen, so dass alle diese Rotationsachsen in einer Ebene liegen, nämlich in der im Mittelpunkt des Gelenkes auf der Primärstellung der Längsachse des bewegten Knochens senkrecht stehenden Ebene. Dieses Gesetz gilt auch für die Augenbewegungen, wurde dort zuerst gefunden und wird als Listing'sches Gesetz bezeichnet.

Nach diesem Gesetz erfolgt erst dann eine Rollung, wenn man von einer Secundärstellung in eine andere übergeht. Nun könnte man dagegen einwerfen, dass beim Ausgehen von einer Primärstellung

in eine andere, secundäre Stellung noch eine ganze Reihe von Secundärstellungen durchschritten wird, und somit die Bewegung zerlegt werden kann in eine Reihe von Bewegungen aus der Primärstellung in die erste Secundärstellung, von der ersten Secundärstellung in die zweite, dritte, vierte u. s. f., dass also jede Bewegung von der Primärstellung aus auch eine Reihe von Bewegungen aus Secundärstellungen in andere involvirt. Wenn nun bei letzteren keine Rollung um die Längsachse (Raddrehung) stattfindet, so ist damit ein Specialfall gegeben für die Bewegungen zwischen Secundärstellungen, welcher sagt, dass auch dann keine Rollung stattfindet, wenn die beiden Secundärstellungen, zwischen denen die Bewegung stattfindet, in einer Ebene liegen, die durch die Primärstellung geht.

Schlussbemerkung.

Nachdem die vorliegende Untersuchung ergeben hat, dass für Gelenke von durchaus gleich gestalteten Gelenkflächen doch die resultirenden Gelenkbewegungen principielle Verschiedenheiten aufweisen, so ist unzweifelhaft dargethan, dass es nicht richtig ist, bei der Untersuchung der Gelenke das alleinige Gewicht auf die Form der Gelenkflächen zu legen und die Gelenke allein nach den Gelenkformen einzutheilen. Man hat vielmehr zuerst die Functionen des Gelenkes d. h. die resultirenden Bewegungen ins Auge zu fassen und erst in zweiter Linie zu untersuchen, wie sich die so gewonnenen Resultate zu den Formen der Gelenkflächen stellen.